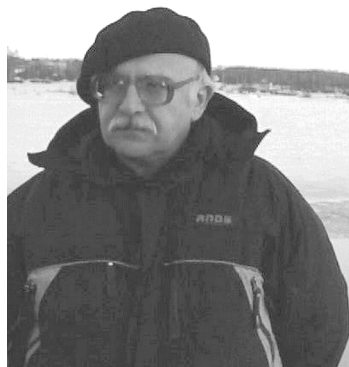


УДК 622.011.4:622.023



С.Г.Геворкян



Б.Н.Голубов

Геворкян С.Г.*,
Голубов Б.Н.**

О признаках импактного происхождения Южно-Каспийской впадины

*Геворкян Сергей Георгиевич, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, ОАО «Фундаментпроект»

E-mail: Sergev99@yandex.ru

**Голубов Борис Николаевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник Института динамики геосфер РАН

В статье приводятся геологические аргументы в поддержку гипотезы Галлея (1694) об импактном образовании Южно-Каспийской впадины в плиоцене и проведены соответствующие расчёты в рамках механики кратерообразования. На основании расчётов нами показано, что падение Южно-Каспийского астероида могло произойти не далее, как 6–7 млн. лет назад. Возникший таким образом гипотетический кратер изначально имел около 210 км в поперечнике и глубину около 30 км. Расчётная масса упавшего астероида составляет от $3,2 \cdot 10^{16}$ кг до $8,8 \cdot 10^{16}$ кг. Энергия кратерообразования оказывается равной $2,58 \cdot 10^{25}$ Дж.

Для подтверждения гипотезы необходимо уточнить время формирования красноцветной толщи в Южно-Каспийской впадине и найти в ее составе минералы космического происхождения.

Ключевые слова: Южно-Каспийская впадина, астероид, кратер, энергия кратерообразования.

Гипотеза Галлея

В декабре 1694 г., выступая на заседании Лондонского Королевского общества, Эдмунд Галлей высказал предположение, что кометы могут падать на Землю, вызывая грандиозные катастрофы, сходные с библейским Всемирным потопом. Он даже полагал, что большие земные структуры типа Каспийского моря сформировались как результат столкновения комет с Землёй¹.

Гипотеза Галлея об импактном происхождении Каспийского моря² изначально основывалась исключительно на астрономических наблюдениях и не была подкреплена ни данными картографии, ни результатами наземных природных исследований. В наши дни анализ этой гипотезы немислим без учета значительного объема данных морских и наземных геолого-геофизических, палеонтологических, геохимических и геоморфологических исследований, проведенных в пределах впадины Южного Каспия и на соседних территориях.

Надо, однако, иметь в виду, что в рамках существующих воззрений до сих пор не дано удовлетворительное объяснение известному своеобразию некоторых страниц геологической истории Южно-Каспийской новейшей тектонической впадины, касающихся, в частности, плиоцена. Отсюда возникает возможность истолкования ряда характерных тектонических, морфоструктурных, литолого-геохимических и палеонтологических особенностей Южно-Каспийской впадины с позиций гипотезы Галлея.



Эдмунд Галлей (1656–1742),
английский Королевский
астроном, геофизик, мате-
матик, метеоролог, физик
и демограф

¹ Бурба Г.А. «Космические лилипуты» // Вокруг света. 2003. № 10 (2757). С. 132–142; Jones H.D. Halley and comet impacts // J. Brit. Astron. Assoc. 1988. Vol. 98. P. 339.

² В книге О.Ю.Омарова «Отважный исследователь Каспийского моря» (Махачкала: Даг. книжное изд.-во, 1965) эта гипотеза по недоразумению приписывается Галилею

Структурно-тектонические особенности Южно-Каспийской впадины

Обычно Южно-Каспийская впадина рассматривается как одна из глубочайших впадин осадочного происхождения Средиземноморско-Альпийского подвижного пояса в ряду аналогичных впадин Черного и Эгейского морей со свойственными им следующими тремя особенностями.

Во-первых, это значительное уменьшение мощности земной коры континентального типа в центральной части этих впадин¹. Граница Мохоровичича под дном Южного Каспия залегает на глубинах не более 22–28 км. На соседних площадях вблизи шельфовых уступов, а также Апшероно-Челекенского порога эта поверхность погружается до глубин 30–35 км. Заметим, однако, что точка зрения о повсеместном отсутствии в центральной части Южно-Каспийской впадины «гранитного слоя» – слоя со скоростями 6,0–6,3 км/с, вызывает возражение отдельных исследователей².

Во-вторых, – чрезвычайно высокая мощность осадочного чехла в центральной части впадин. Данные морской сейсморазведки, морского бурения и геологического картирования соседних территорий Азербайджана и Туркмении показывают, что в Южно-Каспийской впадине накопилось не менее 20–24 км осадков. В их разрезе выделяются отложения палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем, особенности которых будут рассмотрены ниже.

В-третьих, – прямое соответствие современных глубин моря с распределением мощности осадочного чехла, который в Южно-Каспийской впадине венчает толща воды глубиной более 1 км.

Вместе с тем Южно-Каспийская впадина обладает своеобразными тектоническими и морфоструктурными особенностями, которые выделяют её в ряду других подобных впадин Альпийско-Средиземноморского подвижного пояса.

В частности, бросается в глаза преобладание меридиональных простираний структурных элементов, сформированных на новейшем тектоническом этапе развития Южно-Каспийской впадины, которые оказались поперечными по отношению к более древним линейным тектоническим элементам кавказского простирания. Характерно, что отложения плиоцена в Южно-Каспийской впадине и в соседних областях залегают с резким угловым и азимутальным несогласием на более древних разновозрастных отложениях области альпийской складчатости, а также молодых Скифской и Туранской плит.

Помимо такого резко выраженного наложенного характера, Южно-Каспийская впадина отличается также своим зонально-концентрическим строением, которое наиболее отчетливо отображается в гравитационном поле и прослеживается на разных её уровнях по поведению сейсмических границ раздела.

В гравитационном поле в восточной половине впадины Южного Каспия наблюдается значительный Южно-Каспийский максимум значений силы тяжести изометричной формы, который последовательно обрамляется узкой зоной градиентов и отрицательной аномалией гравитационного поля с минимумом значений в северо-западной части Южного Каспия вблизи Апшеронского порога и Бакинского архипелага. С северо-запада от этого изометричного минимума гравитационного поля ответвляется Средне-Каспийский линейный гравитационный минимум, который прослеживается вдоль прибрежной полосы Дагестана.

Поверхность Мохоровичича образует относительно узкую дугообразную зону близповерхностного залегания шириной от 20 до 50 км, которая обрамляет глубоководную часть впадины Южного Каспия и смещена в сторону туркменского шельфа. Внутренняя часть этой дуги обрамляет изометричную область относительно повышенных значений глубин поверхности Мохоровичича (32–35 км), а внешняя опоясывается областью, где эта поверхность погружена до 45–50 км. То есть поверхность Мохоровичича под дном Южного Каспия прослеживается в виде валообразного кольцевого «бруствера» с центральной «горкой».

Подобное строение с заметно сглаженными формами центральной «горки» имеют также поверхности разновозрастного фундамента и консолидированной коры. Первая из них залегает в центральной части Южно-Каспийской впадины на глубинах более 20 км. Этот «провал» обрамляется кольцеобразной зоной резких уступов в рельефе поверхности фундамента амплитудой до 12–15 км. Во внешнем обрамлении кольцеобразного «провала» в пределах соседних территорий Азербайджана, Ирана, Туркмении, а также под дном Среднего Каспия, поверхность фундамента залегает на глубинах не более 4–5 км. Исключение составляют два узких «рва», которые ответвляются от центральной части Южно-Каспийского «провала» в сторону Куринской низменности и прибрежной полосы Дагестана, где поверхность фундамента погружена до глубин 10–12 км. Поверхность консолидированной коры (кровля нижнего яруса фундамента) в сглаженном виде почти в деталях повторяет конфигурацию нижележащей поверхности разновозрастного фундамента.

Для отложений палеогена и неогена также характерно зонально-концентрическое неравномерное распределение мощности отложений.

Палеогеновая система вскрыта бурением в бортах Южно-Каспийской впадины: под дном моря на Апшероно-Челекенском пороге, а также на суше в пределах Западно-Туркменской и Куринской впадин. В глубоководной части Южного Каспия слои палеогеновой системы прослежены по данным морской сейсморазведки. В

¹ Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М., 1993. 456 с.; Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра. 2004. 342 с.; Полетаева Е.В. Геофизическая характеристика региональных разломов земной коры Каспийского моря // Каротажник. 2010. № (1) 190. С. 128–135; Полетаева Е.В. Региональные разломы Каспийского моря по комплексу геофизических данных // Научное обозрение. 2010. № 1. С. 3–8.

² Шихалибеги Э.Ш., Гасанов А.Г., Тагиев Р.Э., Метакса Х.П. К вопросу о строении и формировании впадины Южного Каспия (по новым данным) // Очерки по геологии Азербайджана: Достижения геологической науки Азербайджана. Баку, 1984. С. 61–84.

результате обобщения этих данных установлено, что палеоген Южно-Каспийской впадины представлен отложениями палеоцена, эоцена и олигоцена, объединяемыми в майкопскую свиту, которая представлена преимущественно глинисто-аргиллитовой толщей с прослоями песчаников, мергелей или глинистых известняков.

Мощность майкопской свиты в пределах Южно-Каспийской впадины весьма изменчива и варьирует от 0,2 до 3,0 км. Наиболее примечательным является «кольцо раздува» мощности майкопской свиты, которое опоясывает глубоководную впадину Южного Каспия и смещено в сторону туркменского побережья. В западной половине этого «кольца» и вблизи иранского шельфа мощность майкопской свиты увеличена до 2–3 км, а вблизи туркменского побережья составляет не более 1,5 км. Внутри этого «кольца» расположена изометричная область пониженных значений мощности майкопской свиты (0,2 км).

Неогеновая система в пределах Южно-Каспийской впадины представлена двумя отделами – миоценом и плиоценом.

Миоцен вскрыт бурением множеством скважин на Апшеронском архипелаге, а также на западном побережье Южного Каспия. О разрезе миоцена в более погруженных частях Южно-Каспийской впадины можно судить по обломкам горных пород, доставляемых при извержении грязевых вулканов. В целом установлено, что в центральной части впадины распространены косослоистые песчаники эоцена, мергели чокракского горизонта, а также сарматские известняки. По мере продвижения к бортам впадины в разрезе миоцена начинают преобладать глинистые отложения с прослойками мергелей и мелкозернистых песчаников, общая мощность которых составляет 180–215 м.

Отложения плиоцена в пределах Южного Каспия представлены понтическим ярусом, продуктивной (красноцветной) толщей, а также акчагыльским и апшеронским ярусами.

Понтический ярус представлен здесь преимущественно глинами с редкими линзами и прослоями песков. Слои этих пород заметно дислоцированы. Мощность понтического яруса варьирует от 65–100 до 200–250 м и местами достигает 320 м. Эти вариации обусловлены тем, что в плиоцене отложения понтического яруса подвергались значительному размыву.

Продуктивная толща со следами размыва и углового несогласия перекрывает более древние отложения пестрого состава, включающие плохо сортированные пески и песчаники, переслаивающиеся с разноцветными глинами. Мощность толщи феноменально высока. Она достигает в центральной части Южно-Каспийской впадины 8500 м, а в бортах впадины сокращается до 3700–4000 м. Ниже будут отмечены и другие необычные особенности этой толщи.

Вышележащие отложения акчагыльского и апшеронского ярусов, а также четвертичной системы представлены в целом терригенными и карбонатно-терригенными разновидностями пород, которые хотя и отличаются своим пестрым фациальным составом, но имеют гораздо меньшую мощность по сравнению с продуктивной толщей.

Наконец, зонально-концентрическое строение впадины Южного Каспия отчетливо отражается и в рельефе дна моря.

Особо подчеркнем и то, что Южно-Каспийская впадина являет собой крупную субвертикальную зону дегазации Земли с интенсивными выделениями углеводородов, ювенильного водорода допланетного генезиса и других газов¹.

Таким образом, Южно-Каспийская впадина по своим морфоструктурным особенностям внешне практически ничем не отличается от астроблем, в строении которых выделяются три комплекса пород: цокольный, кратерный и покровный (рис. 1, 2).

Вместе с тем, анализируя особенности строения и истории геологического развития Южно-Каспийской впадины, никто из исследователей (исключая Галлея) не допускал мысли об одноактном катастрофическом событии, приведшем к образованию этой впадины. Признавая чрезвычайно высокую скорость тектонического погружения в плиоцене, своеобразие соотношения конфигурации слоев впадины с глубинными границами раздела земной коры и т.д., исследователи, несмотря на возникающие разногласия, сходились в том, что происхождение и развитие Южно-Каспийской впадины определялось весьма длительными геологическими процессами².

Следовательно, гипотезу Галлея едва ли удастся возродить, если не будут найдены признаки такой катастрофы.

О признаках катастрофы в плиоценовой истории Южно-Каспийской впадины

О том, что Южно-Каспийская впадина всё же могла возникнуть в результате одноактного катастрофического события, свидетельствуют следующие особенности разреза отложений красноцветной толщи плиоцена. Прежде всего, это отмеченная выше исключительно высокая мощность этих отложений, которые накопились в чрезвычайно короткий интервал времени. Датировка этой толщи до сих пор является камнем преткновения для стратиграфов, поскольку в этой мощной толще содержатся остатки ископаемой фауны (в частности, остракод), которые обнаружены и в подстилающих отложениях понтического яруса и в вышележащих слоях акчагыльского яруса.

Для того чтобы как-то объяснить наблюдаемую противоречивую картину, было предположено, что продуктивная толща начала формироваться в условиях замкнутого балаханского озера и в разрезе этой толщи присутствует так называемая свита перерыва, ниже которой развита понтическая фауна, а выше – акчагыльская. При этом, однако, оставалось непонятным, почему в отложениях балаханского озера сохранились остатки как пресноводной, так и солоноватоводной фауны. Такой подход казался практически удобным, поскольку позволял «втискивать» продуктивную толщу в рамки международной геохронологической шкалы в качестве киммерийского яруса.

¹ Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г. Субвертикальные зоны углеводородной дегазации Земли. // Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы междунар. конф. памяти акад. П.Н.Кропоткина. 20–24 мая 2002 г., Москва. М.: ГЕОС, 2002. С. 318–319.

² Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М., 1993. 456 с.

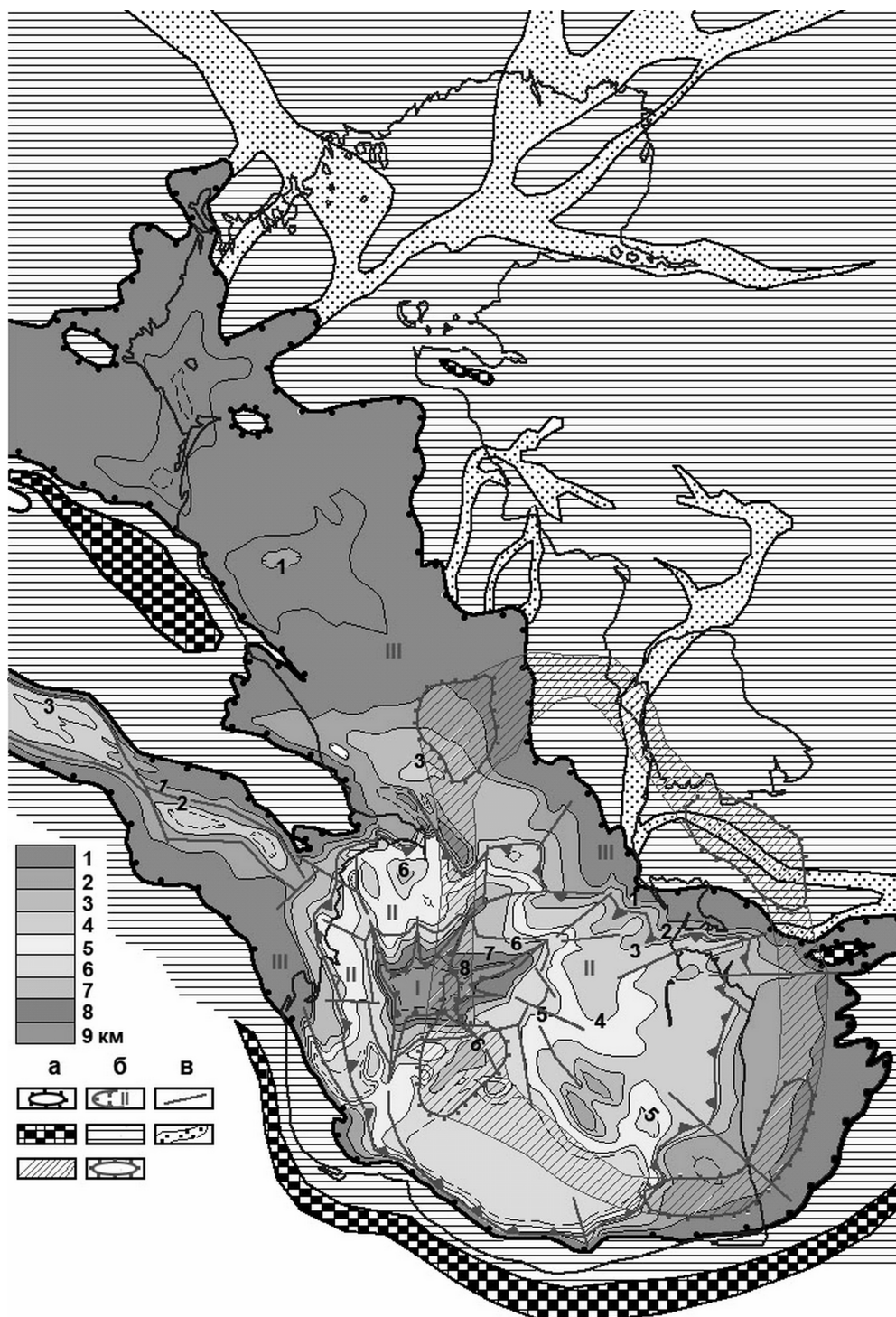


Рис. 1. Схема радиально-концентрического (кратерного) строения среднеплиоценовых отложений и глубинных границ раздела земной коры Южно-Каспийской впадины с элементами палеогеографии.

Условные обозначения:

Колонка: мощность среднеплиоценовых отложений, км.

Верхний ряд: а – современный контур распространения среднеплиоценовых отложений; б – границы структурно-фациальных зон в этих отложениях: I – предполагаемая воронка ударного кратера; II – зона выброса обломочного материала вокруг кратера; III – область распространения отжатых на дневную поверхность подземных вод и активизации плоскостного сдвига, возникшая после «метеоритного» удара; в – разломы.

Средний ряд: область отсутствия среднеплиоценовых отложений и их частичного размыва: а – горные хребты; б – уплощенные и наклонные равнины; в – долины рек, зародившиеся в плиоцене.

Нижний ряд: а – Южно-Каспийская концентрическая зона пониженной мощности земной коры; б – участки наиболее приподнятого современного залегания поверхности Мохоровичича (до глубин 24–26 км).

Вместе с тем детальное изучение разрезов понта, киммерия и акчагыла показало, что на удалении от Южно-Каспийской впадины акчагыл и киммерий являются разновозрастными (как это изначально в 1927 г. утверждал знаток разрезов неогена академик Н.И. Андрусов). Тем самым интервал геологического времени, необходимый для формирования красноцветной толщи плиоцена в пределах Южного Каспия, сводился к нулю.

На основании данных магнитостратиграфии время накопления продуктивной толщи рассматривается в интервале 2,3–5,12 млн. лет, что, однако, оспаривается отдельными исследователями ввиду того, что даже при таком возрастном интервале приходится допускать необычно высокие скорости осадконакопления. Как считают В.А. Семенов и М.А. Певзнер, продуктивная толща не может быть древнее шестой эпохи (т.е. 6,5 млн. лет) или понтического яруса¹. К тому же за пределами Южно-Каспийской впадины акчагыльский ярус местами залегает согласно без следов видимого перерыва на слоях понтического яруса, не оставляя тем самым временного зазора балаханскому «веку» накопления продуктивной толщи.

Таким образом, в настоящее время нет никаких противопоказаний к тому, чтобы сократить длительность балаханского века (особенно его нижней части) до нуля и принять соответственно схему одноактного, скоротечного процесса формирования красноцветной толщи. Такой подход даёт возможность решить проблему бесследного исчезновения и гибели каспийской фауны в балаханском веке. Эта проблема до сих пор не разрешена, хотя она исследуется ещё с позапрошлого века, начиная с классических трудов А.И. Андрусова; ей посвящено множество более поздних публикаций².

Здесь следует также отметить и плохо сортированный «мусорный» характер строения красноцветной толщи, который аналогичен брекчированному заполнению кратеров астроблем. Отсюда становится понятной бесполезность попыток корреляции «слоев» красноцветной толщи на большие расстояния даже в пределах Южно-Каспийской впадины.

В работе Б.Н. Голубова³ особое внимание обращалось и на находки в красноцветной толще обломков магматических пород основного и ультраосновного состава, а также на повышенное содержание железа в отложениях балаханского яруса, придающего им красноцветный облик. Источники сноса этих обломков могли быть связаны с размывом тех интрузивов основного и ультраосновного состава, которые развиты на Малом Кавказе, Эльбурсе и Туаркыре. Но следует иметь в виду и то, что метеоритное вещество представлено в основном обломками железных метеоритов (каменные метеориты легче, чем железные, плавятся и затем либо испаряются, либо растворяются в импактном расплаве). То есть не исключены находки железистых минералов космического происхождения в красноцветной толще.

Особого внимания заслуживают также находки в выбросах местных грязевых вулканов многочисленных шариков самородного алюминия со следами высокотемпературного обжига⁴. Авторы этой работы предполагают, что это образования высокотемпературных фумарол, что, однако, не исключает и того, что такие шарики являются аналогами расплавленных импактитов или тектитов, представляющих собой застывшие брызги импактного расплава. Эти факты ведут к необходимости более тщательного анализа не только железистых минералов в обломочном материале красноцветной толщи, но и анализу распределения таких элементов, как Ni, Cr, Co, Ir, Os (и других платиноидов), которые являются типичными для импактных расплавов космических тел.

Проблема последствий возможного метеоритного удара

Гипотеза возможного удара космического тела может помочь в понимании ряда других важных особенностей Южно-Каспийской впадины.

Во-первых, это особенности вторичных изменений красноцветной толщи. После предполагаемого удара космического тела эта толща при последующем своем уплотнении в условиях сейсмического встряхивания должна приобрести вторичную слоистость. Эта «слоистость», с одной стороны, хорошо регистрируется морской сейсморазведкой, а с другой, – все же не согласуется с фактом плохой сортировки обломочного материала, наблюдаемого при визуальном изучении образцов горных пород. Кроме того, после предполагаемого удара красноцветная толща перемывалась и перекрывалась наносами рек, хлынувших во вновь образованный кратер, подвергалась также переработке грязевыми вулканами и более поздними тектоническими деформациями.

Во-вторых, это особенности грязевого вулканизма Южно-Каспийской впадины⁵, обусловленные неравномерным перераспределением глинистого материала майкопской свиты за счет мощного удара космического тела. Как уже отмечено, максимальный раздув мощности майкопской свиты характерен для западной части Южного Каспия. Такое «однобокое» нагнетание глинистого материала в последующем, вероятно, предопределило и более высокую плотность, а также активность грязевого вулканизма в азербайджанском секторе Южного Каспия по сравнению с туркменским.

В-третьих, гипотеза метеоритного удара может объяснить причину великой акчагыльской трансгрессии, которая возникла вслед за балаханским веком и распространилась далеко на север вплоть до широты Казани. Поиск причин этой трансгрессии ведется с позапрошлого века и ознаменован множеством бесплодных попыток найти тот

¹ Сиднев А.В. История развития гидрографической сети плиоцена в Предуралье. М., 1985. 224 с.

² Милановский Е.Е. К палеогеографии Каспийского бассейна в среднем и начале позднего плиоцена (балаханский и акчагыльский век) // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 1963. Т. 38. Вып. 3. С. 7–89

³ Голубов Б.Н. Вопросы геологического строения молодых платформ в пределах Каспия (по данным геофизических исследований) // Автореферат диссертации ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1973. 18 с.

⁴ Новгородов М.И., Мамедов Ю.Г. Самородный алюминий из грязевого вулкана острова Булла (Каспийское море) // Литология и полезные ископаемые. 1996. № 4. С. 339–344

⁵ Дадашев Ф.Г., Мамедова П.А., Полетаев А.В. Зональное распределение грязевых вулканов в нефтегазоносных областях // Геология нефти и газа. 2003. № 1. С. 18–20.

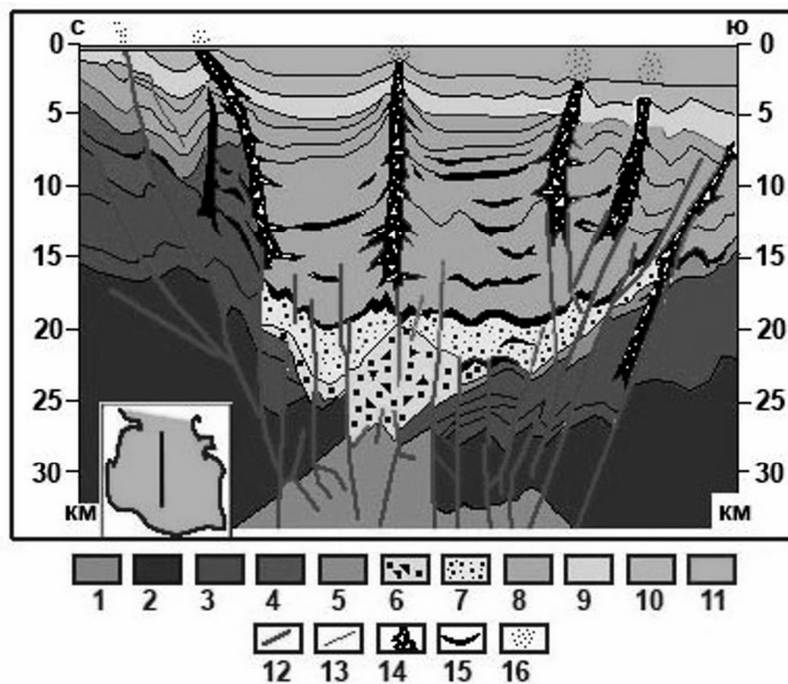


Рис. 2. Геологический разрез погребенной импактной структуры Южно-Каспийской впадины вдоль профиля глубинного сейсмического зондирования (по Полетаевой, 2010).

Условные обозначения:

Цокольный досреднеплиоценовый комплекс брекчированных пород (1–5): 1 – верхняя мантия; 2 – нерасчлененные протерозойско-палеозойские образования кристаллического фундамента; 3 – нерасчлененные отложения мезозоя. Палеогеновая система (4–5): 4 – олигоцен-миоцен (глины сумгаитской, коунской и майкопской свит, тарханского, чокракского и караганского горизонтов с редкими прослоями мергелей и песчаников); 5 – миоцен – нижний неоген (песчанистые глины с прослоями мергелей, мергелистых песчаников и брекчиевидные доломиты сарматского, мэотического и понтического ярусов).

Кратерный (астроблемный) среднеплиоценовый комплекс пород (6–7): 6 – глыбовые брекчии ударного кратера; 7 – тонкообломочные брекчии в зоне выброса обломочного материала.

Покровный комплекс плиоцен-четвертичных отложений (8–11): 8 – киммерийский (балаханский) ярус (продуктивная толща сложного чередования отложений, озер, временных водотоков, конусов выноса, селей, рек и т.д.); 9 – акчагыльский и апшеронский ярусы; 10 – четвертичная система; 11 – море.

Прочие обозначения (12–16): 12 – крупные разломы; 13 – второстепенные разрывы; 14 – инъективные дислокации (грязевые вулканы и диапиры); 15 – слои и линзы озерных отложений плиоцена, претерпевшие последующие дислокации; 16 – современные очаги дегазации и разгрузки подземных вод и нефтей.

древний пролив, по которому воды Мирового океана могли бы обеспечивать подпитку акчагыльского моря. Камнем преткновения при этом является и проблема происхождения акчагыльской фауны, которая обладает ярко выраженным эндемизмом, отличающим её от обитателей всех соседних водоемов и Мирового океана.

Поскольку в решении этих проблем до сих пор не получены ощутимые результаты, то возникают вопросы уже к самой методике исследований. Дело в том, что геологи и палеонтологи ведут такой поиск в рамках традиционных представлений о палеоморях, изображаемых в виде поверхностных водоемов с непроницаемым дном. При этом, как правило, игнорируется сама возможность связи вод этих палеоморей с подземной гидросферой.

Пытаясь разрешить возникшие противоречия, авторы работы¹ предприняли попытку показать, что источники подпитки вод акчагыльского моря действовали внутри новейшей тектонической впадины Каспийского моря и никоим образом не были связаны с проникновением вод Мирового океана. При таком подходе возникает необходимость оценки механизмов импульсной разгрузки напорных подземных вод, скопившихся в разновозрастных структурных этажах земной коры бассейна Каспийского моря. Способен ли был импульс предполагаемого метеоритного удара в области Южного Каспия обеспечить такую разгрузку подземных флюидов – вопрос дальнейших исследований.

В-четвертых, как будет показано ниже, в рамках гипотезы метеоритного удара находит свое объяснение и своеобразное современное «сейсмическое затишье» центральной части Южно-Каспийской впадины, наблюдаемое на фоне множества землетрясений в обрамлении этой впадины в пределах Средиземно-морско-альпийского подвижного пояса.

¹ Голубов Б.Н., Новиков В.Л., Шлезингер А.Е. Процессы, определяющие формирование водных масс Каспийского моря и колебания его уровня // ДАН. 1998. Т. 358. № 4. С. 548–542.

Параметры Южно-Каспийского кратера

Если гипотезу об импактном (ударном) происхождении Южно-Каспийской впадины признать справедливой, то для определения размеров, массы и времени падения небесного тела, вызвавшего образование этой впадины, необходимо прежде оценить первоначальные параметры ударного кратера, ставшего впоследствии Южной частью Каспийского моря.

Очевидно, что со времени падения этого небесного тела (которое можно условно назвать Южно-Каспийским астероидом), образованный им кратер должен был претерпеть существенные изменения, обусловленные как эрозионными процессами, так и вязкой текучестью пород литосферы в гравитационном поле Земли¹. Вместе с тем можно допустить, что наряду со значительными изменениями формы и размеров кратера, объём его изменится ненамного, да и то – в сторону уменьшения². Сказанное равносильно предположению, что современный объём Южно-Каспийской впадины, ограниченной снизу цокольным комплексом кристаллических пород не превышает величину первоначального объёма рассматриваемого кратера.

Согласно имеющимся данным³, этот объём составляет около 686306,5 км³. Эту величину следует принять за оценку снизу объёма (W) Южно-Каспийского кратера. Таким образом, принимаем, что $W \approx 686306,5$ км³.

Объём (W) и радиус (R) метеоритного кратера связаны следующим соотношением⁴:

$$W = kR^3, \quad (1)$$

где коэффициент $k = 0,6-0,7$. Обычно для крупных метеоритных кратеров рекомендуется принимать $k = 0,6$ ⁵. В таком случае имеем:

$$W = 0,6 \cdot R^3. \quad (2)$$

Отсюда следует, что для Южно-Каспийского кратера $R \approx 104,58$ км.

Можно допустить⁶, что рассматриваемый нами гипотетический Южно-Каспийский кратер в начале своего существования имел форму полуэллипсоида вращения радиуса R . В таком случае объём этого кратера будет определяться следующим соотношением:

$$W = \frac{2}{3} \cdot \pi HR^2, \quad (3)$$

где H — глубина кратера. Из (3), с учётом выражения (2), имеем:

$$H = \frac{0,9}{\pi} \cdot R. \quad (4)$$

Отсюда следует, что $H \approx 29,96$ км при $R \approx 104,58$ км.

Таким образом, получаем, что гипотетический Южно-Каспийский кратер должен был в начале своего существования иметь радиус $R \approx 104,58$ км и глубину $H \approx 29,96$ км.

Возможные размеры и масса гипотетического Южно-Каспийского астероида

Чтобы рассчитать размеры и массу небесного тела, падение которого могло бы вызвать образование Южно-Каспийского кратера, следует сначала определить соответствующую энергию кратерообразования (E_K). Для этого воспользуемся обобщённой формулой Холсэппла и Шмидта для воронок контактного взрыва⁷:

$$W = 0,174 \cdot \frac{q}{\rho} \cdot \left\{ (0,1 + tg\varphi) \cdot \left[\frac{g}{Q_e} \cdot \left(\frac{q}{\delta} \right)^{\frac{1}{3}} \right] \right\}^{-0,472}, \quad (5)$$

где W — объём воронки в горной породе плотностью ρ и углом внутреннего трения φ , образующейся в поле тяготения с ускорением свободного падения g , при взрыве заряда массой q с плотностью взрывчатого вещества, равной δ и удельным энерговыделением Q_e . Зная объём Южно-Каспийского кратера и свойства вмещающих его пород цокольного комплекса, по формуле (5) находим массу условного заряда в тротиловом эквиваленте (q), после чего определяем энергию кратерообразования:

$$E_K = qQ_e, \quad (6)$$

где удельное энерговыделение тротила $Q_e = 4,1868 \cdot 10^6$ Дж/кг. Принимая для вмещающих пород $\rho = 2800$ кг/м³, $\varphi = 30^\circ$, и учитывая, что плотность тротила $\delta = 1000$ кг/м³, объём нашего кратера $W = 686,31 \cdot 10^{12}$ м³, и ускорение $g = 9,81$ м/с², из формулы (5) получаем, что $q = 6,16 \cdot 10^{18}$ кг. Определив q , по

¹ Геворкян С.Г. О возможном импактном происхождении чаши Южного Каспия. // Экономика природопользования. 1998. № 6. С. 80–84.

² Геворкян С.Г. О возможном импактном происхождении чаши Южного Каспия. // Экономика природопользования. 1998. № 6. С. 80–84; Красс М.С. Эволюция метеоритных кратеров Марса. // Астрономический вестник. 1989. Т. 23. № 2. С. 134–144

³ Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра. 2004. 342 с.

⁴ Иванов Б.А. Успехи механики кратерообразования. // «Удар, взрыв и разрушение. Новое в зарубежной науке». Серия «Механика». М., 1981. Вып. 26. С. 204–238; Колибернов Е.С., Корнев В.И., Сосков А.А. Справочник офицера инженерных войск. М., 1989. 432 с.

⁵ Иванов Б.А. Успехи механики кратерообразования. // «Удар, взрыв и разрушение. Новое в зарубежной науке». Серия «Механика». М., 1981. Вып. 26. С. 204–238

⁶ Красс М.С. Эволюция метеоритных кратеров Марса. // Астрономический вестник. 1989. Т. 23. № 2. С. 134–144

⁷ Holsapple K.A., Schmidt R.M. A material strength model for apparent crater volume // Lunar and Planetary Sciences. 1979. Vol. 10. P. 558–560

формуле (6) находим энергию кратерообразования, которая оказывается равной $E_k = 2,58 \cdot 10^{25}$ Дж.

На образование кратера расходуется около 65 % кинетической энергии падающего небесного тела (E); остальная её часть расходуется на тепловые эффекты¹. Следовательно,

$$E_k = 0,65 \cdot E, \quad (7)$$

Поскольку

$$E = 0,5 \cdot mV^2, \quad (8)$$

где m, V — соответственно масса и скорость небесного тела (астероида), то из (7) и (8) имеем:

$$m = \frac{E_k}{0,325 \cdot V^2}. \quad (9)$$

При расчётах скорость падения на Землю небесных тел (V) обычно принимается равной от 20–30 км/с до 50 км/с². Принимая $V=30$ км/с, из соотношения (9) находим, что масса Южно-Каспийского астероида должна быть равной $m = 8,8 \cdot 10^{16}$ кг. При $V=50$ км/с масса астероида будет равной $m = 3,2 \cdot 10^{16}$ кг. Теперь, зная массу астероида и задаваясь различными значениями его плотности, можем оценить его размеры.

Таблица 1.

Расчетные размеры Южно-Каспийского астероида при скорости падения $V=30$ км/с

Материал астероида	Форма астероида				
	Сферическая	Эллипсоидальная			
		$a=1,4r$		$a=1,8r$	
г, км	г, км	а, км	г, км	а, км	
Каменный	19,1	17,1	24,0	15,7	28,3
Железный	13,9	12,4	17,4	11,4	20,6
Ледяной	28,6	25,6	35,8	23,5	42,3

Таблица 2.

Расчетные размеры Южно-Каспийского астероида при скорости падения $V=50$ км/с

Материал астероида	Форма астероида				
	Сферическая	Эллипсоидальная			
		$a=1,4r$		$a=1,8r$	
г, км	г, км	а, км	г, км	а, км	
Каменный	13,6	12,2	17,0	11,2	20,2
Железный	9,9	8,9	12,4	8,1	14,7
Ледяной	20,3	18,2	25,5	16,7	30,1

Форма падающих на Землю небесных тел обычно неправильная и не может быть известна заранее. При проведении расчётов обычно полагают, что эти тела либо шарообразны (сферические)³, либо имеют форму эллипсоида вращения с отношениями полуосей $a = (1,4-1,8)r$ ⁴. Плотность каменных метеоритов обычно принимают равной $\rho_m = 3000$ кг/м³, а для железных $\rho_m = 7800$ кг/м³. Нами был рассмотрен также случай ледяного тела с плотностью $\rho_m = 900$ кг/м³. Полученные нами расчётные значения размеров гипотетического Южно-Каспийского астероида приводятся в табл. 1 и 2. Из этих таблиц видно, что наиболее «компактным» оказывается железный астероид сферической формы.

Возраст Южно-Каспийского кратера

Возраст Южно-Каспийского кратера (τ) можно оценить, исходя из допущения, что вмещающие его раздробленные породы ведут себя как очень вязкая жидкость, у которой первоначальное смещение поверхности убывает со временем по мере того, как эта «жидкость» перетекает из приподнятых областей в пониженные. В этом случае изменение со временем глубины Южно-Каспийского кратера можно приближённо описать следующей зависимостью⁵:

$$h = H \cdot \exp\left(-\frac{2\rho g R \tau}{4\pi\mu}\right), \quad (10)$$

где ρ, μ — соответственно плотность и вязкость вмещающих пород; R, H — расчётные значения радиуса и глубины кратера в начальный момент его существования, h — текущая глубина кратера. Отсюда, полагая h равным современной глубине южной части Каспийского моря, найдём возраст Южно-Каспийского кратера:

¹ Gault D.E., Guest J.E., Murray J.B., Dzurisin D., Malin M.C. Some comparison of impact craters on the Mercury and the Moon. // J.Geophys.Res. 1975. Vol. 80. P. 2444–2460.

² Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеороиды. М., 1987. 174 с.

³ Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеороиды. М., 1987. 174 с.

⁴ Бялко А.В. Наша планета – Земля. М., 1989. 240 с.

⁵ Тёркотт Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. Т. 2. М., 1985. 732 с.

$$\tau = -\frac{4\pi\mu}{2\rho gR} \cdot \ln\left(\frac{h}{H}\right) ; \quad h < H. \quad (11)$$

Принимая $\rho = 2800 \text{ кг/м}^3$, $R \approx 104,58 \text{ км}$, $H \approx 29,96 \text{ км}$, $h = 995 \text{ м}$ (Физико-географический атлас мира, 1964), при $\mu = 2,5 \cdot 10^{22} \text{ Па}\cdot\text{с}$ получим, что $\tau = 5,9 \text{ млн.лет}$, а при $\mu = 3,1 \cdot 10^{22} \text{ Па}\cdot\text{с}$ имеем $\tau = 7,3 \text{ млн.лет}$. Таким образом, если южная часть Каспийского моря своим происхождением действительно обязана падению астероида, то подобное событие должно было иметь место не далее, как 6–7,5 млн. лет назад.

Образование ударного кратера глубиной около 30 км равносильно снятию нагрузки на мантию в месте падения астероида, что ведет к подъёму мантийного вещества и образованию купола под дном кратера. Величина, на которую поднимется мантийное вещество под дном кратера, может быть определена следующим образом. Если H_L – мощность литосферы, H_M – высота подъёма (относительно границы Мохоровичича) мантийного вещества под дном кратера, ρ_L и ρ_M – соответственно плотности литосферы и мантийного вещества, то из закона Архимеда вытекает следующее соотношение:

$$H_L \cdot \rho_L = (H_L - H) \cdot \rho_L + H_M \cdot \rho_M, \quad (12)$$

откуда имеем:

$$H_M = \frac{H \cdot \rho_L}{\rho_M}. \quad (13)$$

При $\rho_L = 2600 \text{ кг/м}^3$ и $\rho_M = 3300 \text{ кг/м}^3$ из (13) следует, что $H_M = 23,6 \text{ км}$, что хорошо согласуется с данными глубинного сейсмического зондирования Южно-Каспийской впадины. Подъём мантийного вещества под дном кратера привел к смещению сейсмических очагов к периферии Южно-Каспийского кратера и формированию своеобразной зоны сейсмического затишья в его пределах.

На карте мощности среднеплиоценовых отложений Каспийского моря (рис. 1) видно, что удар астероида пришёлся в направлении с северо-востока на юго-запад. Этот удар нарушил изостатическое равновесие региона, что в свою очередь могло ускорить воздымание горного хребта Эльбурс.

Заключение

Актуальность возрождения гипотезы импактного происхождения Южно-Каспийской впадины обусловлена не только потребностями решения ряда научных проблем академического характера, но и множеством практических задач поиска, разведки и разработки месторождений нефти и газа в этой впадине¹, прогноза сейсмичности Южно-Каспийской впадины и оценки связи водного баланса Каспийского моря с подземной гидросферой. Эта гипотеза хорошо объясняет особенности геологического строения и снимает противоречия в истолковании истории геологического развития и современной геодинамики этой впадины.

На основании расчётов, выполненных в рамках механики кратерообразования, нами показано, что падение Южно-Каспийского астероида могло произойти не далее, как 6–7 млн. лет назад. Возникший таким образом гипотетический кратер изначально имел около 210 км в поперечнике и глубину около 30 км. Расчётная масса упавшего астероида составляет от $3,2 \cdot 10^{16} \text{ кг}$ до $8,8 \cdot 10^{16} \text{ кг}$. Энергия кратерообразования оказывается равной $2,58 \cdot 10^{25} \text{ Дж}$.

Для решения вопроса о правомерности или неправомерности гипотезы об импактном происхождении Южно-Каспийской впадины необходимо: а) уточнить возрастной интервал формирования красноцветной толщи; б) исследовать состав обломочного материала красноцветной толщи с целью определения минералов космического происхождения.

Заметим, что в настоящее время на поверхности Земли обнаружено свыше 250 импактных кратеров-астроблем размерами от 1,0 до 150,0 км. Кратер Вредефорт, один из крупнейших на Земле, расположен на территории Южно-Африканской Республики, в 120 км от Йоханнесбурга. Он образовался $1970 \pm 100 \text{ млн. лет}$ назад в афебии (нижний протерозой). Диаметр кратера составляет 140 км². К числу крупнейших на планете принадлежит и кратер Мороквенг, недавно обнаруженный на северо-западе ЮАР, в пустыне Калахари. Он образовался 142,8–147,7 миллионов лет назад, на границе между юрским и меловым периодом. Его диаметр составляет, как минимум, 120 км³. Возникший на границе мела и палеогена 65 млн. лет назад кратер Чиксулуб (полуостров Юкатан) имеет диаметр 170 км. Предполагается, что он образовался в результате удара астероида диаметром около 10 км. Энергия удара оценивается в $5 \cdot 10^{23} \text{ Дж}$ ⁴.

Кратеры Попигай⁵ (Восточная Сибирь) и Чесапик-Бей⁶ (Вирджиния, США) образовались на границе эоцена и олигоцена 35,2–35,7 млн. лет назад. Диаметр Попигайского кратера составляет 100 км. Чесапик-Бей, один из хорошо сохранившихся морских (субаквальных) кратеров, имеет диаметр ок. 90 км и глубину 1,3 км.

¹ Кучерук Е.В. Астроблемы – новый перспективный объект для поисков нефти и газа // Геология нефти и газа. 1989. № 11. С. 16–18.

² Фельдман В.И. Астроблемы – звёздные раны Земли // Соросовский Образовательный Журнал. 1999. № 9. С. 67–74

³ Koeberl C., Armstrong R.A., Reimold W.U. Morokweng, South Africa: A large impact structure of Jurassic-Cretaceous Boundary age // Geology. 1997. V. 25. N. 8. P. 731–734; Bottomley R., Grieve R. The age of the Popigai impact event and its relation to events at the Eocene/Oligocene boundary // Nature. 1997. Vol. 388. N. 6639. P. 365–368

⁴ Bralower T.J., Paull C.K., Leckie R. M. The Cretaceous-Tertiary boundary cocktail: Chicxulub impact triggers margin collapse and extensive sediment gravity flows // Geology. 1997. V. 26. N. 4. P. 331–334; Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction // Science. New Series. 1980. Vol. 208. N. 4448. P. 1095–1108.

⁵ Bottomley R., Grieve R. The age of the Popigai impact event and its relation to events at the Eocene / Oligocene boundary // Nature. 1997. Vol. 388. N. 6639. P. 365–368.

⁶ Koeberl C., Poag C.W., Reimold W.U., Brandt D. Impact origin of the Chesapeake Bay structure and the source of the North American tektites // Science. 1996. Vol. 271. P. 126–1266

По мнению ряда исследователей¹, импактное происхождение имеют также Гудзонов залив (диаметр 400 км), залив Святого Лаврентия (290 км), Ишимская кольцевая структура (700 км) и Прибалхашско-Илийская впадина (700 км).

Очевидно, что сопоставление геологического строения названных выше ударных структур с геологическим строением Южно-Каспийской впадины может помочь в решении вопроса о её возможном импактном происхождении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Артюшков Е.В. Физическая тектоника. М., 1993. 456 с.
2. Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеороиды. М., 1987. 174 с.
3. Бурба Г.А. «Космические лилипуты» // *Вокруг света*. 2003. № 10(2757). С. 132–142.
4. Бялко А.В. Наша планета – Земля. М., 1989. 240 с.
5. Геворкян С.Г. О возможном импактном происхождении чаши Южного Каспия. // *Экономика природопользования*. 1998. № 6. С. 80–84.
6. Глумов И.Ф., Маловицкий Я.П., Новиков А.А., Сенин Б.В. Региональная геология и нефтегазоносность Каспийского моря. М.: Недра, 2004. 342 с.
7. Голубов Б.Н. Вопросы геологического строения молодых платформ в пределах Каспия (по данным геофизических исследований) // Автореферат диссертации ... канд. геол.-мин. наук. М.: МГУ, 1973. 18 с.
8. Голубов Б.Н., Новиков В.Л., Шлезингер А.Е. Процессы, определяющие формирование водных масс Каспийского моря и колебания его уровня // *ДАН*, 1998. Т. 358. № 4. С. 548–542.
9. Гулиев И.С., Дадашев Ф.Г. Субвертикальные зоны углеводородной дегазации Земли. // *Дегазация Земли: геодинамика, геофлюиды, нефть и газ. Материалы междунар. конф. памяти акад. П.Н.Кропоткина*. 20–24 мая 2002 г., г. Москва. М.: ГЕОС, 2002. С. 318–319.
10. Дадашев Ф.Г., Мамедова П.А., Полетаев А.В. Зональное распределение грязевых вулканов в нефтегазоносных областях // *Геология нефти и газа*. 2003. № 1. С. 18–20.
11. Зейлик Б.С. О происхождении дугообразных и кольцевых структур на Земле и других планетах (ударно-взрывная тектоника). М.: Геоинформ, 1978. 58 с.
12. Иванов Б.А. Успехи механики кратерообразования. // *Удар, взрыв и разрушение. Новое в зарубежной науке. Серия «Механика»*. М., 1981. Вып. 26. С. 204–238.
13. Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры лика планеты. М.: Знание, 1989. 48 с.
14. Колибернов Е.С., Корнев В.И., Сосков А.А. Справочник офицера инженерных войск. М., 1989. 432 с.
15. Красс М.С. Эволюция метеоритных кратеров Марса. // *Астрономический вестник*. 1989. Т. 23. № 2. С. 134–144.
16. Кучерук Е.В. Астроблемы – новый перспективный объект для поисков нефти и газа // *Геология нефти и газа*. 1989. № 11. С. 16–18.
17. Милановский Е.Е. К палеогеографии Каспийского бассейна в среднем и начале позднего плейстоцена (балханский и акчагыльский век) // *Бюллетень МОИП. Отдел геологический*. 1963. Т. 38. Вып. 3. С. 77–89.
18. Новгородов М.И., Мамедов Ю.Г. Самородный алюминий из грязевого вулкана острова Булла (Каспийское море). // *Литология и полезные ископаемые*. 1996. № 4. С. 339–344.
19. Омаров О.Ю. Отважный исследователь Каспийского моря. Махачкала: Дагестанское книжное издательство, 1965. 80 с.
20. Полетаева Е.В. Геофизическая характеристика региональных разломов земной коры Каспийского моря // *Каротажник*. 2010. № 1(190). С. 128–135.
21. Полетаева Е.В. Региональные разломы Каспийского моря по комплексу геофизических данных // *Научное обозрение*. 2010. № 1. С. 3–8.
22. Сиднев А.В. История развития гидрографической сети плейстоцена в Предуралье. М., 1985. 224 с.
23. Тёркотт Д., Шуберт Дж. Геодинамика. Геологические приложения физики сплошных сред. Т. 2. М., 1985. 732 с.
24. Шихалибейли Э.Ш., Гасанов А.Г., Тагиев Р.Э., Метакса Х.П. К вопросу о строении и формировании впадины Южного Каспия (по новым данным) // *Очерки по геологии Азербайджана: Достижения геологической науки Азербайджана*. Баку, 1984. С. 61–84.
25. Alvarez L.W., Alvarez W., Asaro F., Michel H.V. Extraterrestrial Cause for the Cretaceous-Tertiary Extinction // *Science. New Series*. 1980. Vol. 208. N. 4448. P. 1095–1108.
26. Bottomley R., Grieve R. The age of the Popigai impact event and its relation to events at the Eocene/Oligocene boundary // *Nature*. 1997. Vol. 388. N. 6639. P. 365–368.
27. Bralower T.J., Paull C.K., Leckie R.M. The Cretaceous-Tertiary boundary cocktail: Chicxulub impact triggers margin collapse and extensive sediment gravity flows // *Geology*, 1997, V. 26, N. 4, P. 331–334.
28. Gault D.E., Guest J.E., Murray J.B., Dzurisin D., Malin M.C. Some comparison of impact craters on the Mercury and the Moon. // *J. Geophys. Res.* 1975. Vol. 80. P. 2444–2460.
29. Holsapple K.A., Schmidt R.M. A material strength model for apparent crater volume // *Lunar and Planetary Sciences*. 1979. Vol. 10. P. 558–560.
30. Jones H.D. Halley and comet impacts // *J. Brit. Astron. Assoc.* 1988. Vol. 98. P. 339.
31. Koeberl C., Armstrong R.A., Reimold W.U. Morokweng, South Africa: A large impact structure of Jurassic-Cretaceous Boundary age // *Geology*. 1997. V. 25. № 8. P. 731–734.
32. Koeberl C., Poag C.W., Reimold W.U., Brandt D. Impact origin of the Chesapeake Bay structure and the source of the North American tektites // *Science*. 1996. Vol. 271. P. 1263–1266.

¹ Зейлик Б.С. О происхождении дугообразных и кольцевых структур на Земле и других планетах (ударно-взрывная тектоника). М.: Геоинформ, 1978. 58 с.; Кац Я.Г., Козлов В.В., Полетаев А.И., Сулиди-Кондратьев Е.Д. Кольцевые структуры лика планеты. М.: Знание, 1989. 48 с.